



TUGAS AKHIR – SF 141501

**PENGARUH FRAKSI BERAT SERAT WARU
TERHADAP SIFAT MEKANIK KAMPAS REM
KERETA API KOMPOSIT NON-ASBESTOS**

**BAYU PRASETYA
NRP 1113 100 082**

**Dosen Pembimbing
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR – SF 141501

**PENGARUH FRAKSI BERAT SERAT WARU
TERHADAP SIFAT MEKANIK KAMPAS REM
KERETA API KOMPOSIT NON-ASBESTOS**

**BAYU PRASETYA
NRP 1113 100 082**

**Dosen Pembimbing
Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**EFFECT OF WARU FIBER WEIGHT
FRACTION FACTOR TO MECHANICAL
PROPERTIES OF NON ASBESTOS COMPOSITE
RAILWAY BRAKE CANVASS**

**BAYU PRASETYA
NRP 1113 100 082**

**Advisor
Dr.Mochamad Zainuri, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**PENGARUH FRAKSI BERAT SERAT WARU TERHADAP
SIFAT MEKANIK KAMPAS REM KERETA API
KOMPOSIT NON-ASBESTOS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

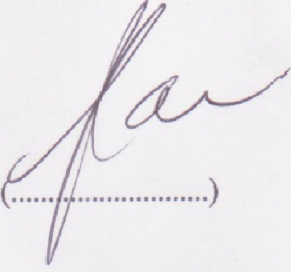
BAYU PRASETYA

NRP 1113100082

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.

NIP. 19640130 199002.1.001


(.....)



Pengaruh Fraksi Berat Serat Waru terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Kereta Api Komposit Non-Asbestos

Nama : Bayu Prasetya
NRP : 1113100082
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.

Abstrak

Kampas rem berbahan asbestos telah diketahui memiliki beberapa kelemahan. Bahan komposit non asbestos saat ini mulai banyak digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan, murah, dan mudah diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk membuat kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos dengan penguat serat waru dan untuk mengetahui pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem. Variasi fraksi berat serat waru yang digunakan adalah 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan meliputi kekerasan, densitas, koefisien gesek, dan keausan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi berat serat waru memengaruhi sifat mekanik kampas rem komposit non asbestos. Terjadi penurunan nilai kekerasan dan densitas pada sampel dengan fraksi berat serat waru yang semakin besar. Jumlah fraksi berat serat waru yang semakin besar juga meningkatkan nilai keausan dan koefisien gesek.

Kata kunci : *Kampas rem, komposit, non asbestos, serat waru*

Effect of Waru Fiber Weight Fraction Factor to Mechanical Properties of Non Asbestos Composite Railway Brake Canvass

Name : Bayu Prasetya
NRP : 1113100082
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Mochamad Zainuri, M.Si

Abstract

The asbestos brake canvass is known to have some disadvantages. Non-asbestos composite materials are now widely used because of its environmentally friendly, inexpensive, and easily made. This research is intended to make railway brake canvass made from non asbestos waru fiber composite and the influence of weight fraction of waru fiber to mechanical propeties of brake canvass. The variation of fraction of fiber weight used is 4%, 6%, 8%, 10%, and 12%. Tests of mechanical properties carried out include hardness, density, friction coeficient, and wear. The results showed that the fraction of fiber weight affects the mechanical properties of non-asbestos composite brake canvass. There was a decrease in hardness and density in the sample with the greater fraction of waru fiber. The increasing number of waru fiber fractions also increases wear and friction.

Keyword : Brake canvass, Composite, Non Asbestos, Waru fiber

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Sholawat serta salam tetap tucurahkan kepada uswatun hasanah sepanjang zaman, Nabi Muhammad *Sholallahu 'Alaihi Wa Salam* yang telah menuntun kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

“Pengaruh Fraksi Berat Serat Waru terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Kereta Api Komposit Non-Asbestos”

Penulis mempersembahkan Karya Tulis ini kepada masyarakat Indonesia guna berpartisipasi dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang sains dan teknologi. Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Slamet Budiono dan Ibu Diana Wahyuningsih yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis, juga Kakak Fajar Timur dan Adik Natan Alam yang juga selalu memberikan dukungan.
2. Seluruh rakyat Indonesia melalui DIRJEN DIKTI yang telah memberikan beasiswa BIDIKMISI kepada penulis selama menempuh studi S1 Fisika di ITS.

3. Bapak Prof. Darminto sebagai dosen wali yang memberikan bimbingan dan arahan yang membangun bagi penulis.
4. Bapak Dr. Mohamad Zainuri, M.Si sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman, memberikan bimbingan, wawasan, dan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Sarman dan seluruh karyawan CV Mukti Sarana yang memberikan fasilitas untuk dapat melakukan proses produksi sampel kampas rem dan juga atas banyak nasihat yang diberikan.
6. Muhammad Rizki Maulana Yusuf, sahabat terbaik yang senantiasa menemani dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Bapak Sukir dan Mas Ali Mufid yang telah membagi ilmunya dan membantu memenuhi kebutuhan fasilitas untuk pengambilan data untuk penyelesaian Tugas Akhir.
8. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng. Selaku Ketua Departemen Fisika FMIPA ITS
9. Keluarga Fisika ITS 2013 (*Supernova*) yang telah membersamai penulis selama menjalani studi di Fisika FMIPA ITS.
10. Keluarga di Forum Studi Fisika ITS dan JMMI yang telah berjuang bersama dan memberi banyak hal berharga.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah memberikan balasan terbaik.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Amiin Ya Rabbal ‘Alamiin.

Surabaya, 14 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Kampas Rem	5
2.2 Komposit	6
2.3 Serat Alami.....	8
2.4 Serat Waru	10
2.5 Biokomposit	12
2.6 Sifat Mekanik Bahan.....	13
2.6.1 Kekerasan.....	14
2.6.2 Koefisien Gesek.....	16
2.6.3 Keausan.....	17
2.6.4 Densitas.....	18
 BAB III METODOLOGI	 21

3.1 Alat dan Bahan	21
3.1.1 Alat	21
3.1.2 Bahan	21
3.2 Langkah Kerja.....	21
3.3 Diagram Alir.....	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	22
3.4.1 Pembuatan Komposit.....	22
3.4.2 Pengujian Kekerasan.....	25
3.4.3 Pengujian Densitas.....	27
3.4.4 Pengujian Keausan.....	28
3.4.5 Pengujian Koefisien Gesek.....	29
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan	31
4.2 Hasil Pengujian Densitas.....	35
4.3 Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	39
4.4 Hasil Pengujian Keausan.....	41
BAB V KESIMPULAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN.....	49
BIOGRAFI PENULIS	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Densitas dari beberapa bahan	18
Tabel 4.1 Nilai kekerasan semua sampel	31
Tabel 4.2 Nilai densitas semua sampel	36
Tabel 4.3 Nilai koefisien gesek setiap sampel	40
Tabel 4.4 Nilai keausan setiap sampel	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kampas rem kereta api.....	6
Gambar 2.2	Pemasangan kampas rem pada <i>disc brake</i> kereta api.....	7
Gambar 2.3	Perbedaan susunan partikel penyusun komposit.....	7
Gambar 2.4	Skema pembagian jenis komposit berdasarkan bentuk geometri pengisi.....	8
Gambar 2.5	Foto beberapa jenis serat alami.....	9
Gambar 2.6	Kayu pohon waru.....	11
Gambar 2.7	Pohon waru.....	11
Gambar 2.8	Serat waru.....	12
Gambar 2.9	Grafik pebandingan nilai kekakuan terhadap kekerasan pada baja, kuningan, dan besi.....	14
Gambar 2.10	Skema pengujian Brinnell.....	15
Gambar 2.11	Skema penhujian Vickers.....	16
Gambar 2.12	Skema pengujian Rockwell.....	16
Gambar 2.13	Skema terjadinya keausan adesif (<i>adhesive wear</i>).....	17
Gambar 3.1	Diagram alir langkah kerja.....	22

Gambar 3.2 Bahan komposit kampas rem kereta api.....	23
Gambar 3.3 <i>Mixer</i>	24
Gambar 3.4 Cetakan kampas rem kereta api.....	24
Gambar 3.5 Pengisian cetakan.....	24
Gambar 3.6 Mesin press.....	25
Gambar 3.7 Proses pemanasan.....	25
Gambar 3.8 <i>Microhardness Vickers Tester</i>	26
Gambar 3.9 Sampel uji kekerasan	26
Gambar 3.10 Proses perendaman sampel uji densitas	27
Gambar 3.11 Ukuran spesimen uji keausan	28
Gambar 3.12 Skema alat tribometer <i>pin on disc</i>	29
Gambar 3.13 Skema alat pengujian koefisien gesek	30
Gambar 4.1 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 25°C.....	32
Gambar 4.2 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 150°C.....	32
Gambar 4.3 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 300°C.....	33

Gambar 4.4	Grafik hubungan suhu perlakuan panas terhadap nilai kekerasan sampel.....	34
Gambar 4.5	Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 25°C	36
Gambar 4.6	Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 150°C	37
Gambar 4.7	Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 300°C	37
Gambar 4.8	Grafik hubungan suhu perlakuan panas terhadap nilai densitas sampel.....	39
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara fraksi serat waru dengan koefisien gesek	40
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara fraksi serat waru dengan keausan	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang otomotif saat ini sangat pesat, utamanya dalam hal aerodinamika dan performa mesin. Saat ini mesin-mesin otomotif telah mampu menghasilkan tenaga yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan manusia akan sarana transportasi berkecepatan tinggi. Sistem pengereman yang baik tentu sangat dibutuhkan untuk menunjang performa mesin yang tinggi. Sistem pengereman memiliki peran sangat penting dalam bidang otomotif karena bertanggung jawab terhadap keselamatan pengemudi kendaraan (Reif, 2014). Bahan baku rem konvensional berasal dari asbestos yang mempunyai kekuatan mekanik cukup baik dan harganya tidak terlalu mahal. Namun saat ini telah diketahui bahwa kampas rem berbahan asbestos dapat mengalami blong (*fading*) pada suhu di atas 200°C. Selain itu debu asbestos juga sangat berbahaya jika sampai terhirup dan masuk ke paru-paru (Fitrianto, 2013).

Bahan sintetis yang berasal dari fosil telah banyak digunakan dalam berbagai bidang. Bahan-bahan tersebut memiliki sifat mekanik yang cukup baik dan harganya murah. Kekurangan bahan sintetis adalah sifatnya yang sulit untuk terurai di alam sehingga menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan. Bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibanding plastik adalah bahan yang berasal dari alam. Bahan alami diketahui dapat terurai dengan mudah di alam (*degradable*). Bahan alami juga memiliki kekuatan mekanik yang tidak kalah jika dibandingkan dengan bahan sintetis. Keunggulan lain dari bahan alami adalah jumlahnya yang sangat melimpah di alam dan dapat diperoleh dengan mudah (Mohanty, 2005).

Beberapa penelitian tentang pembuatan kampas rem non asbestos dari bahan alami telah dilakukan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Fitrianto membuktikan bahwa kampas rem sepeda motor berbahan komposit non asbestos dengan penguat serbuk

tongkol jagung memiliki kekerasan dan keausan yang mendekati kampas rem produksi pabrik. Penelitian lain yang dilakukan oleh Sutikno juga menunjukkan bahwa serat bambu mampu menggantikan asbestos sebagai bahan gesek kampas rem.

Tanaman waru adalah jenis tanaman yang banyak ditemukan di wilayah tropis. Kulit pohon waru dapat diolah menjadi serat. Pemanfaatan serat waru secara konvensional hanya sebagai tali, jaring, atau tas rajut. Serat waru memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik, namun penelitian mengenai serat waru masih sangat sedikit. Penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo menunjukkan serat waru yang telah diekstraksi memiliki kekuatan tarik $30,63431 \text{ kg/mm}^2$ dan regangan 43,568%.

Berdasarkan uraian dan beberapa penelitian yang telah dilakukan di atas, maka pada penelitian ini penulis mencoba untuk membuat kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos berpenguat serat waru. Kampas rem komposit non asbestos yang dibuat akan diuji sifat mekaniknya. Variasi komposisi serat waru pada komposit dibedakan berdasarkan fraksi berat.

1.2 RumusanMasalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara membuat kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos berpenguat serat waru?
2. Bagaimana pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos berpenguat serat waru?

1.3 BatasanMasalah

1. Variasi fraksi berat serat waru adalah 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%.
2. Ukuran serat waru yang digunakan antara 1-3 mm.
3. Arah persebaran serat acak.

4. Sifat mekanik yang diuji adalah kekerasan, densitas, keausan, dan koefisien gesek

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Membuat kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos berpenguat serat waru.
2. Mengetahui pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos berpenguat serat waru.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pengganti serat sintetis sebagai kampas rem kereta api berbahan komposit non asbestos.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisi metodologi penelitian beserta uraian lengkap tentang langkah-langkah penelitian. Bab IV memuat analisis data dan pembahasan hasil penelitian, serta Bab V berisi kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kampas Rem

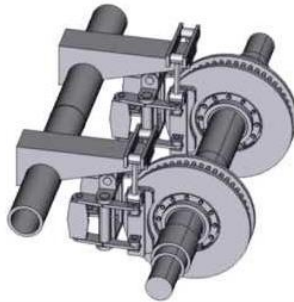
Sistem pengereman adalah suatu sistem yang berfungsi menghambat atau menghentikan laju kendaraan. Sistem pengereman memiliki peran sangat penting dalam bidang otomotif karena bertanggung jawab terhadap keselamatan pengendara kendaraan. Untuk memastikan sistem pengereman pada kendaraan dapat berfungsi dengan baik dan mampu menjamin keselamatan pengendara, maka dibutuhkan suatu standar yang baku (Reif, 2014). Bagian terpenting dari sistem pengereman adalah kampas rem. Kampas rem merupakan alat yang bekerja dengan memperlambat putaran roda kendaraan agar laju kendaraan dapat berkurang hingga berhenti. Kualitas kampas rem dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi bahan, jenis bahan, dan kekerasan bahan. Kampas rem berbahan dasar asbestos pada keadaan basah akan mengalami penurunan kemampuan pengereman. Selain itu bahan asbestos hanya mampu bertahan pada suhu 200°C dan akan mengalami *fading* (blong) di atas suhu tersebut. Kampas rem berbahan asbestos memiliki harga murah. Kekurangan dari bahan asbestos adalah debu hasil gesekannya dapat menyebabkan kanker jika terhirup (Fitrianto, 2013).

Sistem pengereman pada kereta api melibatkan beberapa komponen penting seperti *disk brake*, kampas rem, dan sistem hidrolik. Setiap gerbong kereta api terdiri atas *boggies*, *car body*, dan roda. Pada setiap as roda terdapat *disk brake* dan kampas rem. Saat kereta api melakukan pengereman, sistem hidrolik dari lokomotif akan memberikan gaya yang mendorong kampas rem sehingga dapat menekan *disk brake* untuk memperlambat putaran roda dan menghentikan laju kereta (Pyrgidis, 2016).



Gambar 2.1 Kampas rem kereta api
(Sumber: Indo Bintang Mandiri, 2015)

Setiap jenis kereta api memiliki sistem pengereman serta standar kemampuan pengereman yang berbeda.



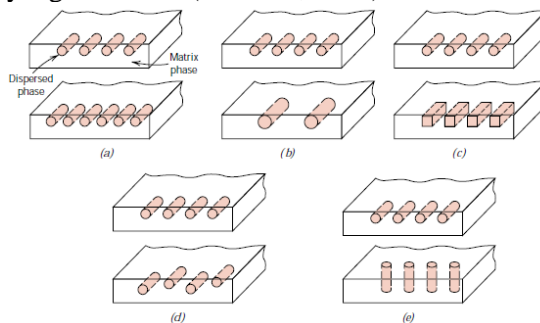
Gambar 2.2 Pemasangan kampas rem pada *disc brake* kereta api

2.2 Komposit

Definisi dari komposit adalah dua atau lebih material yang dikombinasikan sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk membuat material baru yang lebih baik. Komposit memanfaatkan keunggulan material penyusun dan meminimalkan sampai batas tertentu efek dari kekurangan mereka. Proses optimasi material komposit dapat melepaskan dari kendala terkait dengan pemilihan dan pembuatan material konvensional. Material komposit yang terbentuk dapat bersifat lebih keras dan lebih ringan, dengan sifat yang dapat disesuaikan dengan persyaratan desain tertentu (Choo, 1990). Karena kemudahan material komposit untuk dibuat menjadi bentuk yang kompleks, juga membuat material komposit sering menjadi solusi yang lebih baik dan lebih murah.

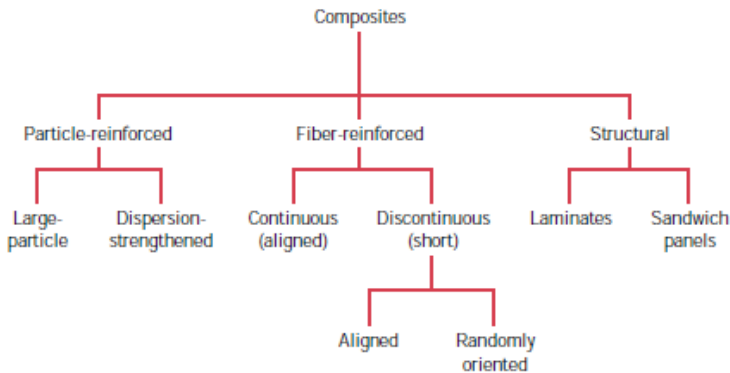
Bahan komposit memungkinkan desainer untuk menyesuaikan material dan proses agar memenuhi spesifikasi produk dengan tepat. Tetapi jika pilihan material komposit ini dipertimbangkan secara serius, proses fabrikasi harus disertakan dalam konsepnya. Sudah sejak lama diketahui bahwa material-material komposit memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, kekakuan yang luar biasa, dan daya tahan terhadap korosi yang sangat baik. Akan tetapi, penggunaan material komposit dibatasi karena biaya produksi yang tinggi.

Bahan komposit tersusun atas dua fase yaitu matriks dan pengisi (*filler*). Matriks adalah fase yang berperan sebagai pengikat, sedangkan pengisi berfungsi sebagai penguat. Matriks dan pengisi memiliki struktur yang kompak dengan ikatan antar permukaan. Persebaran partikel pengisi memengaruhi sifat dari komposit yang terbentuk (Callister, 2001).



Gambar 2.3 Perbedaan susunan partikel pengisi komposit berdasarkan:
a) Konsentrasi, b) Ukuran, c) Bentuk, d) Persebaran, dan e) Arah
(Sumber: Callister, 2001)

Berdasarkan bentuk geometri pengisinya, komposit dibedakan menjadi 3 yaitu partikel, serat, dan lapisan (Callister, 2001)



Gambar 2.4 Skema pembagian jenis komposit berdasarkan bentuk geometri pengisinya
(Sumber: Callister, 2001)

2.3 Serat Alami

Bahan serat berdasarkan asalnya dapat dibedakan menjadi 2 yaitu serat alami dan serat buatan (sintetis). Serat alami adalah serat yang dapat diperoleh dari alam, sedangkan serat buatan adalah serat yang dihasilkan dari proses produksi pabrik yang pada umumnya menggunakan bahan yang berasal dari minyak mentah.

Serat alami diketahui telah sejak lama digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Jumlah serat alami sangat melimpah di alam dan dapat diperoleh dengan mudah. Setiap tahun, jutaan ton serat alami diproduksi di seluruh dunia. Jute banyak dihasilkan oleh India dan Bangladesh. Sisal banyak tumbuh di Afrika dan negara-negara bagian timur, dengan Brazil dan Tanzania sebagai dua negara terbesar yang menghasilkannya. Kenaf dibudidayakan secara massal di Amerika. Rami dapat dijumpai dengan mudah di negara-negara Asia seperti Cina, Jepang, dan Malaysia (Mohanty, 2005).

Serat alami tersusun atas *microfibril* yang terlapis oleh lignin selulosa. Setiap serat merupakan gabungan dari serat-serat halus.

Ikatan hidrogen membuat susunan serat halus terikat dengan kuat dan meningkatkan kekuatan serat alami. Sifat mekanik serat alami dapat bersaing dengan serat konvensional atau sintetis (Amir, 2017).



Gambar 2.5 Foto beberapa jenis serat alami
(Sumber: Mohanty, 2005)

Jenis serat alam sangat banyak seperti sabut kelapa, rami, serat nanas, jerami, rumput, kapas, serat bambu, batang jagung, kulit kayu, dan sebagainya. Secara umum jenis serat alami dapat dibedakan menjadi 2 yaitu serat kayu dan serat non kayu. Serat kayu adalah serat yang diperoleh dari bagian kayu pohon. Serat kayu dibagi menjadi serat kayu keras dan serat kayu lunak. Serat kayu juga dapat didaur ulang. Pemanfaatan serat kayu biasanya sebagai bahan dasar pembuatan kertas. Serat alami non kayu sangat banyak jenisnya dan dapat diperoleh dari beberapa bagian tanaman seperti daun, buah, sabut, batang, dan rumput (Mohanty, 2005).

2.4 Serat Waru

Waru (*Hibiscus tiliaceus*) adalah jenis tanaman yang banyak dijumpai di Indonesia. Tanaman ini biasanya sering tumbuh di wilayah beriklim tropik utamanya di daerah pantai. Tanaman waru juga dapat ditemukan di tepi sungai dan pematang. Di Indonesia tumbuhan ini memiliki banyak nama seperti: *baru* (Gayo, Belitung, Medan, Makassar, Sumba); *baru dowongi* (Ternate, Tidore); *waru* (Sunda, Jawa, Bali, Bugis, Flores); *haru*, *halu*, *faru*, *fanu* (aneka bahasa di Maluku); dan lain-lain.

Pohon waru memiliki bentuk yang tidak terlalu rimbun dengan akarnya yang tertanam tidak terlalu dalam ke tanah. (Nurudin, 2011). Batang pohon waru berbentuk bulat dan berwarna coklat. Kayu dari pohon waru dapat digunakan untuk bahan membuat perahu, perkakas, kerajinan, dan kayu bakar.

Kulit pohon waru banyak mengandung serat yang dapat diperoleh dengan cara direndam dan dipukul-pukul. Setelah melalui perlakuan perendaman di dalam air selama 7 hari dan penjemuran di bawah sinar matahari dapat diperoleh serat yang halus. Serat dari pohon waru yang biasa disebut lulup sering dimanfaatkan untuk tali, jaring, dan tas (Prasetyo, 2016). Daunnya dapat dijadikan pakan ternak, atau yang muda, dapat pula dijadikan sayuran. Daun yang diremas dan dilayukan digunakan untuk mempercepat pematangan bisul. Daun muda yang diremas digunakan sebagai bahan penyubur rambut. Daun muda yang direbus dengan gula batu dimanfaatkan untuk melarutkan (mengencerkan) dahak pada sakit batuk yang agak berat. Kuncup daunnya digunakan untuk mengobati berak darah dan berlendir pada anak-anak. Daunnya juga digunakan sebagai pembungkus ikan segar oleh pedagang di pasar dan pedagang ikan keliling. Bunga waru dapat dijadikan jam biologi. Bunganya mekar di pagi hari dengan mahkota berwarna kuning. Di siang hari warnanya berubah jingga dan sore hari menjadi merah, sebelum akhirnya gugur.



Gambar 2.6 Kayu pohon waru
(Sumber: www.dutarimba.com)



Gambar 2.7 Pohon waru



Gambar 2.8 Serat waru
(Sumber: www.smokyglow.blogspot.co.id)

Serat waru memiliki struktur yang halus dengan jarak antara sub serat sekitar 0,0013 mm. Penelitian yang dilakukan oleh Agung Prasetyo menunjukkan serat waru yang telah diekstraksi memiliki kekuatan tarik 30,63431 kg/mm² dan regangan 43,568%. Hasil penelitian Arif Nurudin dkk, membuktikan bahwa komposit berpenguat serat waru dengan arah serat 0°/45°/0°/0°/-45°/0° dan matriks *polyester* memiliki kekuatan tarik 72,69 N/mm² dan kekuatan bending 3566,87 N/mm².

2.5 Biokomposit

Bahan plastik telah banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Bahan plastik banyak digunakan karena harganya murah dan memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik. Namun plastik juga merupakan suatu bahan yang sulit terdegradasi. Plastik termasuk bahan polimer yang tersusun oleh rantai karbon yang panjang. Rantai karbon ini memiliki kekuatan ikatan yang sangat tinggi sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama bagi plastik untuk dapat terurai di alam. Sampah plastik yang tidak segera terurai tentu akan menumpuk dan menimbulkan polusi air maupun tanah. Masalah lingkungan yang belakangan menjadi perhatian khusus seluruh bagi manusia membuat para ilmuwan berusaha mengembangkan bahan pengganti plastik. Salah satu alternatif pengganti plastik adalah bahan alami. Bahan alami yang jumlahnya sangat melimpah di alam memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh bahan lain yaitu kemampuan untuk terurai di alam dengan cepat. Bahan alami, terutama yang berbentuk serat mulai banyak dimanfaatkan sebagai penguat bahan komposit. Sebagai contoh, saat ini beberapa produsen plastik menambahkan serbuk kayu dalam komposisinya. Tambahan serbuk kayu ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya produksi.

Bahan komposit berpenguat serat biasanya menggunakan *fiber glass* sebagai penguatnya. *Fiber glass* banyak digunakan karena memiliki kekuatan yang cukup baik. Namun karena *fiber*

glass terbuat dari bahan berbasis fosil yang sulit terurai di alam, penggunaannya saat ini mulai berkurang. Sebagai penggantinya sekarang banyak bahan komposit yang menggunakan penguat serat alami seperti jerami, sabut, rami, bambu, dan sebagainya. Bahan komposit yang salah satu bahan pembentuknya berasal dari bahan alami disebut sebagai biokomposit. Bahan alami yang digabungkan dalam bahan biokomposit bisa berperan sebagai pengisi maupun matriks. Serat alami yang digunakan sebagai pengisi komposit memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding serat sintesis seperti *fiber glass*. Namun densitas dari serat alami jauh lebih kecil daripada *fiber glass*. Karena itu bahan serat alami dapat menjadi pilihan penguat komposit jika diinginkan sifat yang kuat tetapi massanya ringan (Mohanty, 2005).

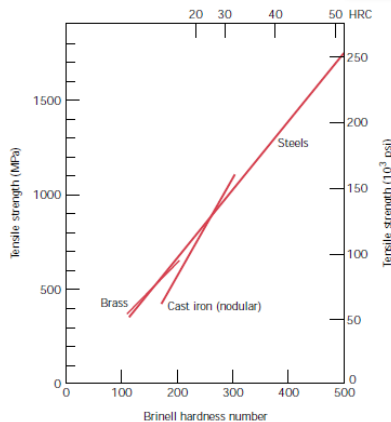
2.6 Sifat Mekanik Bahan

Setiap bahan memiliki sifat yang berbeda karena tersusun dari unsur-unsur pembentuk yang berbeda atau struktur atomiknya yang berbeda. Sifat bahan dapat ditinjau dari sifat mekanik, sifat fisika, sifat kimia, atau yang lainnya. Sifat mekanik bahan menunjukkan respon dari suatu bahan terhadap aktivitas mekanik yang dialami oleh bahan tersebut. Menentukan sifat mekanik suatu bahan tentu sangat penting untuk dapat memanfaatkannya dengan baik. Sifat-sifat mekanik yang penting untuk diketahui antara lain kekuatan, kekerasan, kelenturan, dan kekakuan. Untuk mengetahui sifat mekanik suatu bahan perlu dilakukan pengujian sesuai standar (Callister, 2001).

2.6.1 Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik yang menunjukkan ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis dalam area sempit seperti cekungan atau goresan. Sifat kekerasan bahan adalah sifat yang banyak diuji karena teknik pengujiannya yang cukup mudah dan tidak mahal. Nilai kekerasan bahan diukur dengan standar yang disepakati dan disesuaikan dengan teknik

pengujiannya. Beberapa teknik pengujian kekerasan bahan antara lain *brinell test*, *rockwell hardness test*, *vicker microhardness test*, *koop microhardness test*. Sifat kekerasan dan kekakuan bahan keduanya menunjukkan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis. Nilai kekakuan dan kekerasan setiap bahan memiliki kesebandingan.



Gambar 2.9 Grafik perbandingan nilai kekakuan terhadap kekerasan pada baja, kuningan, dan besi
(Sumber: Callister, 2001)

Hubungan antara nilai kekakuan (*tensile strength*) dan kekerasan (*hardness brinell*) pada baja sesuai dengan formula berikut

$$TS \text{ (MPa)} = 3,45 \times HB$$

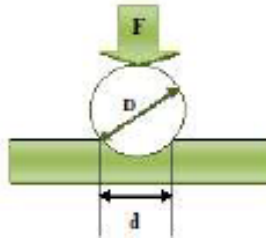
$$TS \text{ (psi)} = 500 \times HB$$

(Callister, 2001)

Dalam bidang material, pengujian kekerasan diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari suatu bahan dan memastikan apakah suatu bahan telah memenuhi kualitas tertentu yang diinginkan. Beberapa pengujian kekerasan dibedakan berdasarkan jenis indenter.

- Brinell

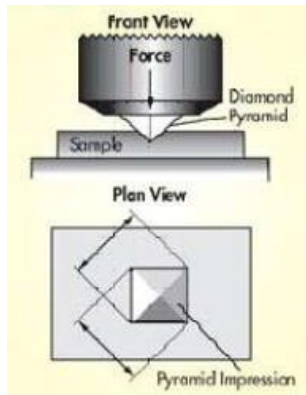
Metode Brinnell menggunakan indenter berupa bola. Metode ini dapat menguji kekerasan bahan di bawah 400 HB.



Gambar 2.10 Skema pengujian Brinnell

- Vickers

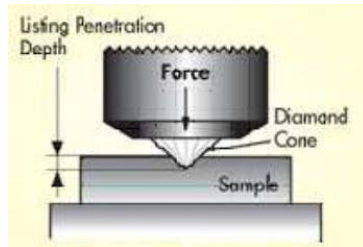
Metode Vickers menggunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut kemiringan 136° . Harga kekerasan Vickers (HV) ditentukan dari hasil bagi gaya yang diberikan dengan faktor 0,102 dan luas cekungan yang terbentuk pada permukaan benda uji.



Gambar 2.11 Skema pengujian Vickers

- Rockwell

Metode Rockwell memiliki beberapa skala berdasarkan kekerasan benda uji dan jenis indenter. Beberapa skala Rockwell adalah HRA (untuk bahan keras), HRB (untuk bahan lunak), dan HRC (untuk bahan kekerasan sedang) dengan indenter berupa intan kerucut (Wahyuni).



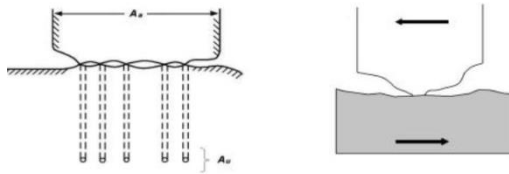
Gambar 2.12 Skema pengujian Rockwell

2.6.2 Koefisien Gesek

Koefisien gesek bahan adalah sifat dari dua permukaan yang bergesekan yang memengaruhi besarnya gaya gesek yang dialami bahan tersebut. Semakin besar koefisien gesek antara dua permukaan yang bergesekan, maka gaya gesek yang dialami akan semakin besar. Koefisien gesek dipengaruhi oleh bentuk permukaan suatu bahan. Permukaan benda yang kasar memiliki struktur yang tidak teratur membentuk goresan atau guratan yang dapat diamati melalui pengujian. Permukaan benda yang kasar membuat koefisien gesek benda tersebut semakin besar (Fitrianto, 2015).

2.6.3 Keausan

Keausan didefinisikan sebagai hilangnya sebagian massa suatu benda akibat gaya gesek dari luar. Nilai keausan suatu bahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kekerasan, keuletan, dan densitas (Kurniawan, 2014). Pengujian nilai keausan dilakukan dengan cara pemberian gaya gesek (pengausan) pada permukaan benda uji dan membandingkan antara massa sebelum dan sesudah pengausan. Hal-hal yang harus diperhitungkan pada pengujian keausan adalah luas permukaan benda uji, kecepatan pengausan, beban yang diberikan pada benda uji, dan luas permukaan pengaus.



Gambar 2.13 Skema terjadinya keausan adesif (*adhesive wear*)

Keausan merupakan fenomena yang sering terjadi di bidang teknik. Keausan dibedakan berdasarkan penyebabnya yaitu keausan mekanik dan keausan kimiawi. Yang termasuk keausan mekanik antara lain *adhesive wear*, *abrasive wear*, *erosive wear*, *fretting wear*, dan *fatigue wear*. Sedangkan yang termasuk keausan oleh faktor kimiawi adalah *corrosive wear*, *solution wear*, *oxidative wear*, dan *diffusive wear* (Syafa'at, 2008).

2.6.4 Densitas

Densitas adalah sifat identik yang dimiliki setiap bahan. Densitas menunjukkan kerapatan antar partikel penyusun suatu bahan. Karakteristik dari suatu bahan dapat dipengaruhi oleh faktor densitas. Pada bahan plastik, densitas dapat menunjukkan komposisi kristal penyusunnya (Sartorius, 1999). Hal yang berkaitan erat dengan densitas adalah porositas. Porositas adalah banyaknya ruang yang terdapat dalam suatu bahan. Nilai porositas berbanding terbalik dengan densitas (Yafie, 2012).

Tabel 2.1 Densitas dari beberapa bahan

Material	Density (g/cm ³)	Material	Density (g/cm ³)
Aluminum	2.64	Iron (cast)	7.21
Brass	8.55	Iron (wrought)	7.77
Brick (red, common)	1.92	Lead	11.34
Coal (anthracite)	1.51	Marble	2.56
Concrete	2.37	Paraffin (wax)	0.72
Copper (cast)	8.68	Quartz	2.64
Copper (rolled)	8.91	Rubber	1.52
Cork	0.24	Steel (cast)	7.85
Feldspar	2.56	Steel (rolled)	7.93
Glass (window)	2.58	Wood (dry) - red cedar	0.38
Gneiss	2.87	Wood (dry) - Douglas fir	0.53
Granite	2.69	Wood (dry) - hickory	0.85
Gold (pure, 24 kt)	19.29	Wood (dry) - maple	0.70
Ice	0.92	Wood (dry) - red oak	0.70
Ivory	1.84	Wood (dry) - yellow pine	0.70

Secara matematis densitas didefinisikan sebagai massa benda dibagi volume

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

keterangan: ρ : densitas (g/cm³)
 m: massa (g)
 V: volume (cm³)

Jenis densitas dibedakan berdasarkan bentuk benda dan cara pengukurannya:

Normal density : densitas gas pada keadaan normal (suhu 0°C dan tekanan 1013 hPa)
 Tap density : densitas serbuk pada keadaan yang tidak ditentukan
 Apparent density : densitas serbuk yang dimampatkan dalam suatu wadah
 Bulk density : perbandingan massa dan volume (termasuk pori di dalam bahan)
 Solid density : perbandingan massa dan volume (tanpa dihitung pori di dalam bahan)
 Relative density : perbandingan densitas suatu bahan terhadap densitas bahan referensi

Densitas dipengaruhi oleh faktor suhu, tekanan, dan fase bahan penyusun (Sartorius, 1999).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital, *mixer*, mesin press, cetakan, oven listrik, mesin bubut, *Microhardness Vickers Tester*, set alat uji densitas, *beaker glass*, gerinda, *Tribometer Pin On Disc*, dan set alat uji koefisien gesek.

3.1.2 Bahan

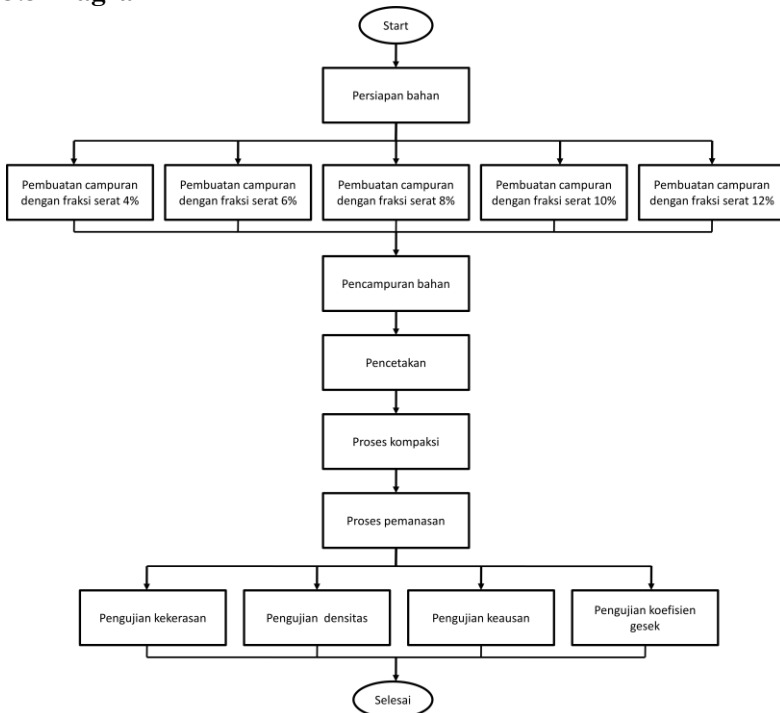
Bahan yang digunakan adalah *iron* serbuk, *ceramic fiber*, *aluminium* serbuk, *aluminium oxide*, serat waru, dan resin.

3.2 Langkah Kerja

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan bahan.
2. Pembuatan campuran dengan komposisi fraksi serat waru 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%.
3. Pencampuran bahan.
4. Proses pencetakan.
5. Proses kompaksi dengan beban..
6. Proses pemanasan (*sintering*)
7. Pengujian kekerasan, densitas, keausan, dan koefisien gesek.
8. Analisis data.
9. Penarikan kesimpulan.

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir langkah kerja

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Komposit

Proses pembuatan sampel komposit dilakukan di bengkel produksi kampas rem CV Mukti Sarana dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Bahan disiapkan
- Ditimbang dengan timbangan digital masing-masing bahan: : *iron* serbuk 100 g, aluminium serbuk 200 g,

aluminium *oxide* 150 g, *ceramic fiber* 25 g, dan resin 200g.

- Ditimbang serat waru sesuai komposisi fraksi berat: 4%, 6%, 8%, 10%, 12%.
- Dicampur semua bahan menggunakan *mixer*.
- Dimasukkan ke dalam cetakan.
- Dilakukan proses kompaksi menggunakan mesin press.
- Dimasukkan ke dalam oven bersama cetakan dan dipanaskan hingga suhu 210°C.
- Diambil dari oven, kemudian didinginkan pada suhu ruang dan dikeluarkan dari cetakan.



Gambar 3.2 Bahan komposit kanvas rem kereta api: (a) *iron* serbuk; (b) aluminium serbuk; (c) aluminium *oxide*; (d) serat waru; (e) resin; (f) *ceramic fiber*



Gambar 3.3 *Mixer*



Gambar 3.4 Cetakan kampas rem kereta api



Gambar 3.5 Pengisian cetakan



Gambar 3.6 Mesin press



Gambar 3.7 Proses pemanasan

3.4.2 Pengujian Kekerasan

Untuk menguji kekerasan sampel digunakan alat *Microhardness Vickers Tester* di laboratorium Fisika Bahan Zat Padat ITS. Sebelumnya dilakukan preparasi sampel terlebih dahulu. Langkah-langkah pengujian keausan sebagai berikut:

- Sampel dipotong dengan ukuran $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$.
- Diberi variasi perlakuan panas pada suhu ruang (25°C), 150°C , dan 300°C .
- Dilapisi dengan pasta emas.
- Sampel ditempatkan di prepatat alat *Microhardness Vickers Tester*.

- Alat *Microhardness Vickers Tester* dinyalakan.
- Lensa objektif diatur fokusnya agar permukaan sampel dapat teramati dengan jelas.
- Ditekan tombol pada alat agar mulai bekerja untuk membuat cekungan pada permukaan sampel.
- Diamati cekungan pada permukaan sampel melalui monitor.
- Ditentukan lebar cekungan.
- Dicatat nilai kekerasan sampel.
- Diulangi 10 kali untuk semua variasi sampel.



Gambar 3.8 *Microhardness Vickers Tester*



Gambar 3.9 Sampel uji kekerasan

3.4.3 Pengujian Densitas

Pengujian densitas menggunakan prinsip hukum Archimedes. Langkah-langkah pengujian densitas adalah:

- Sampel dipotong dengan ukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$.

- Diberikan variasi perlakuan panas dengan suhu 25°C, 150 °C, dan 300 °C.
- Ditimbang dan dicatat massa kering sampel.
- Dipanaskan akuades menggunakan *hot plate*.
- Sampel direndam dalam akuades hingga tidak mengeluarkan udara.



Gambar 3.10 Proses perendaman sampel uji densitas

- Selanjutnya ditimbang dan dicatat massa basah.
- Ditimbang massa sampel saat tercelup air dan dicatat sebagai massa celup.
- Dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai densitas dengan persamaan 3.1.
- Diulangi 10 kali untuk setiap variasi sampel.

$$\rho = \frac{mk}{mb - mc} \times \rho_o \quad (3.1)$$

keterangan: ρ : densitas (g/cm³)

ρ_o : densitas akuades (g/cm³)

m_k : massa kering (g)

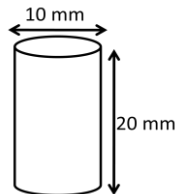
m_b : massa basah (g)

m_c : massa celup (g)

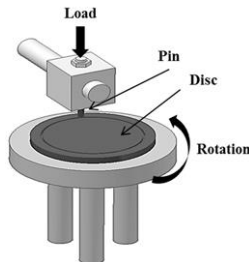
3.4.4 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan alat tribometer *pin on disk*. Langkah-langkah pengujian keausan adalah:

- Sampel dibentuk sesuai ukuran spesimen (pin) yang diperlukan (Gambar 3.8).
- Pin dipasang pada *holder*.
- Diberikan beban sebesar 1,4685 kg
- Disk diputar dengan kecepatan 300 rpm selama 20 menit
- Dicatat volume sampel yang hilang akibat pengausan.
- Dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai keausan dengan persamaan 3.2.



Gambar 3.11 Ukuran spesimen uji keausan



Gambar 3.12 Skema alat tribometer *pin on disc*

Nilai keausan dapat diperoleh melalui persamaan:

$$k' = \frac{V}{m \cdot S} \quad (3.2)$$

dengan

$$S = \omega R t \quad (3.3)$$

Keterangan:	k'	: keausan (cm^2/kg)
	V	: volume yang berkurang (cm^3)
	m	: massa beban (kg)
	S	: jarak pengausan (cm)
	ω	: kecepatan putaran <i>disc</i> (rad/s)
	R	: jari-jari <i>disc</i> (cm)
	t	: lama waktu pengausan (s)

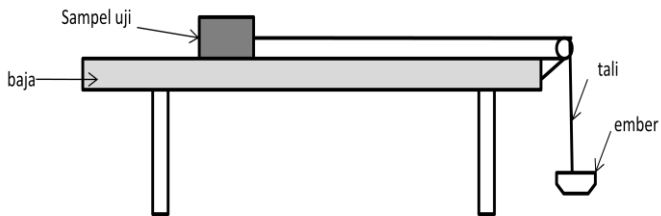
3.4.5 Pengujian Koefisien Gesek

Pengujian koefisien gesek menggunakan satu set alat yang terdiri dari papan baja, tali, ember, dan beban. Langkah-langkah pengujian koefisien gesek adalah:

- Sampel dipotong dengan ukuran $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$.
- Salah satu permukaan sampel dihaluskan menggunakan amplas.
- Ditimbang dan dicatat massa sampel.
- Permukaan sampel yang telah dihaluskan diletakkan pada permukaan baja.
- Sampel dihubungkan pada ember dengan tali.
- Ditambahkan beban sedikit demi sedikit ke ember hingga sampel bergeser.
- Ditimbang dan dicatat massa ember + beban.
- Dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek dengan persamaan.
- Diulang 10 kali untuk setiap variasi sampel.

$$\mu = \frac{\text{massa beban}}{\text{massa sampel}} \quad (3.4)$$

keterangan: μ : koefisien gesek



Gambar 3.13 Skema alat pengujian koefisien gesek

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui nilai kekerasan sampel kampas rem maka digunakan uji kekerasan menggunakan alat *Microhardness Vickers Tester*. Sampel yang diuji dibedakan berdasarkan variasi fraksi berat serat waru dan suhu perlakuan panas yaitu 25°C, 150 °C, dan 300 °C. Variasi perlakuan panas diberikan karena aplikasi kampas rem yang bekerja pada suhu tinggi akibat bergesekan dengan *disc brake*.

Hasil pengujian kekerasan untuk semua sampel dapat dilihat pada tabel 4.1.

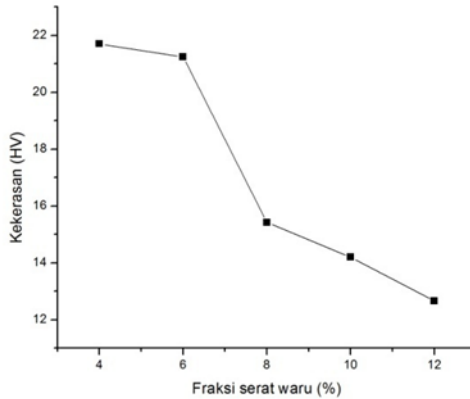
Tabel 4.1 Nilai kekerasan semua sampel

Fraksi serat waru (%)	Perlakuan panas (°C)	Kekerasan (HV)
4	25	21,7
	150	8,4
	300	6,9
6	25	21,24
	150	8,86
	300	7,82
8	25	15,42
	150	9,27
	300	6,67
10	25	14,2
	150	7,68
	300	7,16
12	25	12,66
	150	5,8
	300	3,92

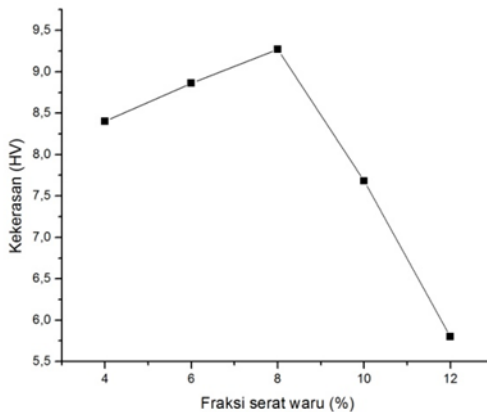
Data yang diperoleh adalah hasil rata-rata dari 10 kali pengulangan pengujian setiap sampel. Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan setiap sampel berbeda untuk

setiap variasi jumlah fraksi serat waru dan suhu perlakuan panas. Nilai kekerasan yang diperoleh antara 3,92 HV hingga 21,70 HV.

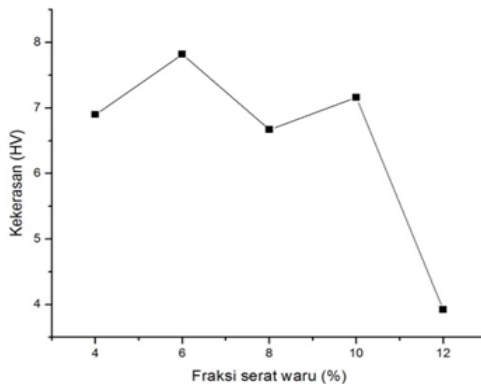
Pengaruh jumlah fraksi serat waru terhadap nilai kekerasan sampel dapat dilihat pada grafik (Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3)



Gambar 4.1 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 25°C



Gambar 4.2 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 150°C



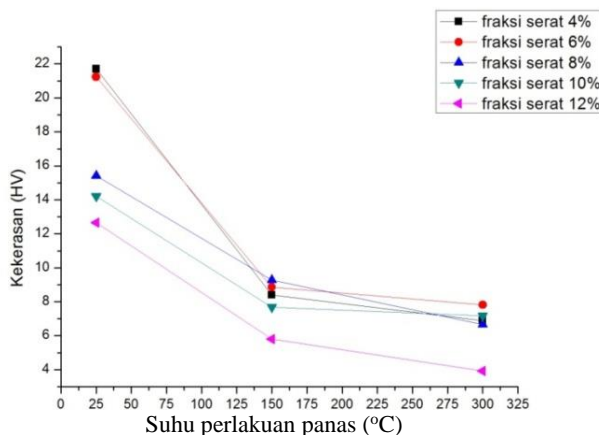
Gambar 4.3 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap kekerasan pada suhu 300°C

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan grafik hubungan antara jumlah fraksi serat waru terhadap kekerasan sampel pada suhu 25°C. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai kekerasan terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar 21,70 HV. Pada sampel dengan fraksi serat waru 6%, nilai kekerasan turun menjadi 21,24 HV. Nilai kekerasan terus mengalami penurunan pada sampel dengan fraksi serat waru yang semakin besar. Nilai kekerasan terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat 12% yaitu sebesar 12,6 HV. Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa nilai kekerasan semakin turun akibat komposisi serat waru yang semakin banyak.

Nilai kekerasan bahan komposit dipengaruhi oleh sifat dan ukuran bahan penyusunnya (Callister, 2011). Serat memiliki sifat keuletan (*ductility*) yang lebih besar dibanding komposisi lain dalam komposit. Serat waru yang ditambahkan ke dalam komposit akan menambah sifat ulet dan menurunkan nilai kekerasannya dari komposit.

Grafik yang menunjukkan hubungan antara fraksi serat waru terhadap nilai kekerasan pada suhu 150°C (Gambar 4.2) memperlihatkan hasil yang berbeda dari grafik sebelumnya. Nilai kekerasan sampel dengan fraksi serat waru 4% yang semula 8,40 HV naik saat jumlah fraksi serat waru 6% dan 8% berturut-turut 8,86 HV dan 9,27 HV. Namun nilai kekerasan kembali turun pada 7,68 HV saat fraksi serat waru 10% dan menjadi 5,80 HV saat fraksi serat waru 12%.

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan hubungan antara fraksi serat waru terhadap nilai kekerasan sampel pada suhu 300°C. Nilai kekerasan yang ditunjukkan oleh grafik berubah-ubah untuk setiap sampel dengan fraksi serat waru yang berbeda. Namun tidak terlihat korelasi yang jelas antara fraksi serat waru dengan nilai kekerasan dari bentuk grafik tersebut. Pada variasi suhu 300°C, nilai kekerasan terbesar dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 6% yaitu sebesar 7,82 HV, sedangkan nilai kekerasan terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 12% yaitu sebesar 3,92 HV.



Gambar 4.4 Grafik hubungan suhu perlakuan panas terhadap nilai kekerasan sampel

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik hubungan antara variasi suhu terhadap nilai kekerasan setiap sampel. Berdasarkan grafik tersebut dapat terlihat bahwa nilai kekerasan semua sampel mengalami penurunan untuk setiap kenaikan suhu. Nilai kekerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran butir (*grain*), perlakuan panas, suhu, dan kondisi atmosfer. Pada suhu tinggi bahan lebih mudah mengalami retakan (Pratama, 2011).

Proses pemanasan memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan sampel. Matriks yang digunakan sebagai pengikat pada komposit adalah jenis resin vinylester yang dapat terdegradasi di atas suhu 165°C. Nilai densitas dari sampel pada variasi suhu 150°C mengalami penurunan akibat resin yang mulai terdegradasi. Terjadinya degradasi ini mengakibatkan kemampuan matriks untuk mengikat filler berkurang sehingga ketahanan komposit terhadap deformasi plastis juga berkurang dan nilai kekerasan turun. Penurunan nilai kekerasan juga terjadi pada sampel dengan variasi suhu 300°C akibat resin yang semakin terdegradasi.

Penurunan nilai kekerasan yang ditunjukkan oleh grafik tersebut ada yang terjadi secara signifikan dan perlahan. Grafik menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang paling stabil terhadap perubahan suhu adalah sampel dengan fraksi serat waru 10%.

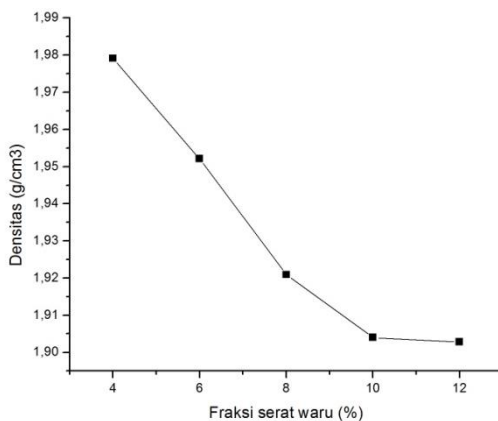
4.2 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian nilai densitas dilakukan dengan prinsip Archimedes. Selain variasi fraksi serat waru juga diberikan variasi suhu perlakuan panas pada sampel yaitu 25°C, 150 °C, dan 300 °C. Hasil pengujian nilai densitas semua sampel dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai densitas semua sampel

Fraksi serat waru (%)	Perlakuan panas (°C)	Densitas (g/cm ³)
4	25	1,9791
	150	1,9404

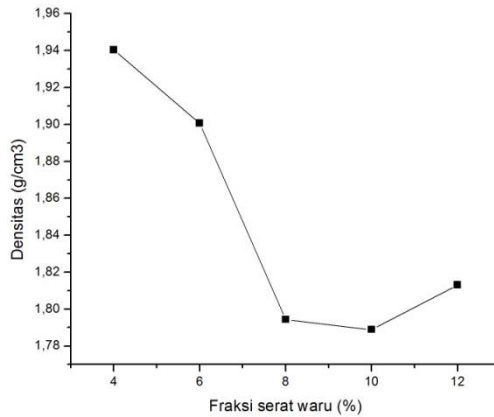
	300	1,8668
6	25	1,9521
	150	1,9006
	300	1,6488
8	25	1,9209
	150	1,7938
	300	1,7555
10	25	1,904
	150	1,7889
	300	1,728
12	25	1,9028
	150	1,8131
	300	1,7781



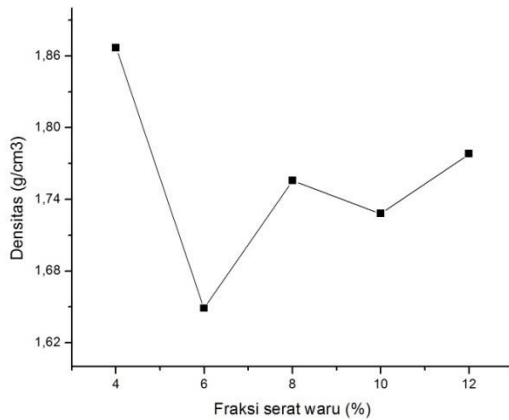
Gambar 4.5 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 25°C

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa nilai densitas untuk setiap variasi memiliki perbedaan. Dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa nilai densitas sampel dipengaruhi oleh jumlah fraksi serat waru. Nilai densitas dari suatu bahan komposit dipengaruhi oleh densitas dari masing-masing bahan penyusunnya. Walaupun bahan komposit telah terbentuk atas

penyusunnya dengan struktur homogen secara makroskopis, tetapi sifat dari setiap komponen masih berpengaruh terhadap sifat komposit yang terbentuk (Yafie, 2012).



Gambar 4.6 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 150°C



Gambar 4.7 Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap densitas pada suhu 300°C

Hubungan antara fraksi serat waru dengan nilai densitas ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7. Pada Gambar 4.5 dapat terlihat hubungan antara fraksi serat waru dengan nilai densitas pada suhu 25°C. Berdasarkan grafik dapat terlihat bahwa nilai densitas sampel cenderung turun untuk setiap kenaikan jumlah fraksi serat waru. Nilai densitas terbesar dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar 1,9791 g/cm³. Nilai ini kemudian turun menjadi 1,9521 g/cm³ saat fraksi serat waru 6%. Pada sampel dengan fraksi serat waru 8%, 10%, dan 12% nilai densitas semakin turun.

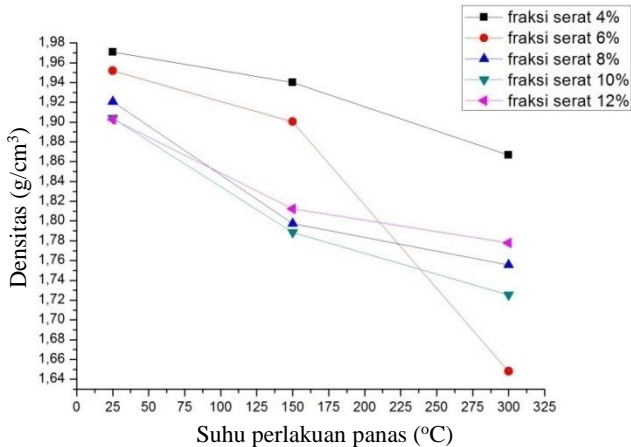
Massa jenis dari serat waru lebih kecil jika dibandingkan dengan massa jenis penyusun komposit lainnya. Karena itu saat komposisi serat waru dalam komposit semakin banyak, maka densitas dari komposit juga semakin berkurang. Peningkatan jumlah fraksi serat waru juga meningkatkan porositas pada komposit karena nilai porositas berbanding terbalik terhadap densitas.

Pada variasi suhu 150°C, nilai densitas sampel juga cenderung turun untuk setiap kenaikan fraksi serat waru. Pada sampel dengan fraksi serat waru 4% nilai densitas sebesar 1,9404 g/cm³. Kemudian densitas turun menjadi 1,9006 g/cm³ pada fraksi serat waru 6%. Saat fraksi serat waru 8%, nilai densitas turun secara tajam sebesar 0,1068 g/cm³ menjadi 1,7938 g/cm³. Nilai densitas terus turun hingga pada fraksi serat waru 10%. Tetapi pada sampel dengan fraksi serat waru 12%, nilai densitas kembali naik pada 1,7781 g/cm³.

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan grafik hubungan antara fraksi serat waru terhadap nilai densitas pada suhu 300°C. Dari grafik terlihat bahwa nilai densitas pada sampel dengan fraksi serat waru 4% turun saat fraksi serat waru 6% dari 1,8668 g/cm³ menjadi 1,6488 g/cm³. Namun pada fraksi serat waru 8%, nilai densitas naik menjadi 1,7555 g/cm³. Kemudian pada fraksi 10% dan 12% nilai densitas kembali turun dan naik lagi.

Selain komposisi serat, densitas dari sampel juga dipengaruhi oleh suhu perlakuan panas yang diberikan. Hubungan

antara suhu perlakuan panas terhadap nilai densitas ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan suhu perlakuan panas terhadap nilai densitas sampel

Pada setiap kenaikan suhu perlakuan panas nilai densitas sampel mengalami penurunan. Namun laju penurunan nilai densitas masing-masing sampel terhadap kenaikan suhu tidak sama. Nilai densitas yang paling stabil adalah densitas sampel dengan fraksi berat serat waru 4%. Penambahan bahan berbasis polimer pada komposit dapat meningkatkan porositas dan mengurangi densitas pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi bahan polimer dapat menguap. Suhu sintering juga memengaruhi banyaknya pori yang terbentuk dalam bahan (Sandra, 2014).

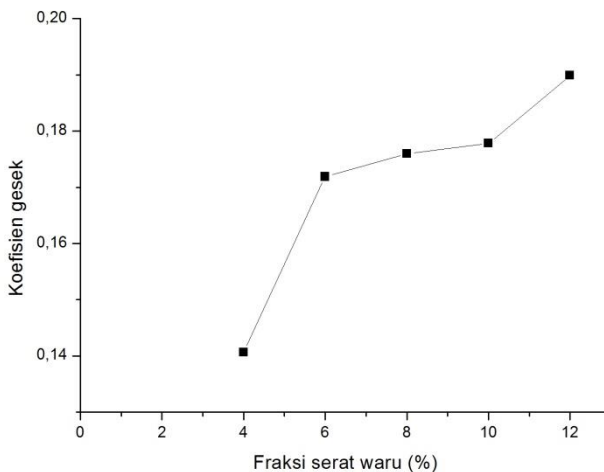
Nilai densitas terbesar untuk setiap variasi suhu dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 4%. Sementara nilai densitas terkecil untuk variasi suhu 150°C dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 12% dan untuk variasi suhu 300°C dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 6%.

4.3 Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Untuk mengetahui kemampuan pengereman dilakukan pengujian koefisien gesek. Aplikasi kampas rem kereta api adalah untuk menghentikan laju kereta api dengan memperlambat putaran roda. Pada saat bekerja, kampas rem akan bergesekan dengan *disc brake* yang terbuat dari baja yang terletak di as roda kereta api. Karena itu pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek antara permukaan kampas rem dan baja.

Tabel 4.3 Nilai koefisien gesek setiap sampel

Fraksi serat waru (%)	Koefisien gesek
4	0,1406
6	0,1719
8	0,1760
10	0,1779
12	0,1899



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara fraksi serat waru dengan koefisien gesek

Serat memiliki sifat permukaan yang kasar. Banyaknya komposisi serat dalam suatu bahan kampas rem komposit akan menambah luasan serat pada permukaan yang berinteraksi dengan *disc brake*. Nilai koefisien gesek antara permukaan kampas rem dengan *disc brake* akan meningkat. Besarnya koefisien gesek dapat mengurangi beban pengereman sehingga komponen-komponen rem lebih awet (Puja, 2011)

Nilai koefisien gesek dari setiap sampel dengan fraksi serat waru berbeda ditunjukkan oleh Tabel 4.12. Nilai koefisien gesek yang diperoleh berbeda untuk setiap variasi fraksi berat serat waru. Hubungan antara besarnya fraksi berat serat waru dengan nilai koefisien gesek ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.9. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar fraksi berat serat waru maka semakin besar nilai koefisien gesek. Komposisi serat waru menambah kekasaran pada kontur permukaan sampel sehingga meningkatkan nilai koefisien gesek.

Nilai koefisien gesek terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 12% yaitu sebesar 0,1899. Nilai koefisien gesek terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar 0,1406.

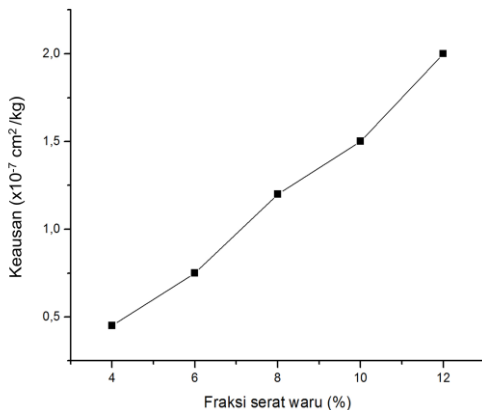
4.4 Hasil Pengujian Keausan

Untuk mengetahui ketahanan bahan terhadap abrasi dilakukan uji keausan. Pengujian keausan dilakukan dengan alat tribometer *pin on disc* menggunakan beban 1,4685 kg dan kecepatan putar piringan pengaus 300 rpm selama 20 menit untuk setiap variasi sampel. Volume sampel yang berkurang akibat pengausan dicatat dan dilakukan perhitungan dengan persamaan 3.2.

Hasil pengujian keausan untuk semua sampel dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai keausan setiap sampel

Fraksi serat (%)	Volume berkurang (cm ³)	Massa beban (kg)	Jarak pengausan (cm)	Kearsan ($\times 10^{-7}$ cm ² /kg)
4	0,015	1,4685	622×10^3	0,45
6	0,026	1,4685	622×10^3	0,75
8	0,040	1,4685	622×10^3	1,2
10	0,050	1,4685	622×10^3	1,5
12	0,065	1,4685	622×10^3	2,0

**Gambar 4.10** Grafik hubungan fraksi serat waru terhadap keausan

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai keausan setiap sampel berbeda. Nilai keausan semakin besar dengan bertambahnya fraksi serat waru pada sampel. Grafik pada gambar 4.10 menunjukkan hubungan antara jumlah fraksi serat waru terhadap nilai keausan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai keausan berbanding lurus dengan jumlah fraksi serat waru. Semakin besar fraksi serat waru maka semakin besar nilai keausan.

Nilai keausan terbesar dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar $0,45 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg}$. Nilai keausan terkecil dimiliki sampel dengan fraksi serat waru 12% yaitu sebesar $2,0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg}$. Semakin kecil nilai keausan maka akan ketahanan bahan terhadap abrasi akan semakin besar dan kampas rem semakin awet.

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan hubungan antara pengaruh fraksi berat serat waru terhadap semua sifat mekanik kampas rem. Pada suhu ruang, peningkatan fraksi serat waru menurunkan nilai kekerasan kampas rem. Hubungan nilai kekerasan dan densitas menunjukkan bahwa semakin kecil nilai densitas maka nilai kekerasan juga semakin berkurang. Hal ini terjadi karena pada saat nilai densitas rendah maka porositas akan meningkat sehingga kemampuan bahan untuk menahan deformasi plastis akan berkurang dan nilai kekerasan juga menurun. Bahan yang memiliki kekerasan rendah akan lebih mudah mengalami abrasi. Hal ini terbukti dengan nilai keausan sampel kampas rem yang semakin bertambah saat nilai kekerasan berkurang. Sedangkan koefisien gesek dipengaruhi oleh jumlah fraksi serat waru yang menentukan kekasaran permukaan sampel kampas rem.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kampas rem kereta api komposit non asbestos berpenguat serat waru telah berhasil dibuat dengan variasi fraksi serat waru 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12%.
2. Pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem kereta api komposit non asbestos berpenguat serat waru adalah:
 - a. Nilai kekerasan terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% pada suhu 25°C yaitu sebesar 21,70 HV. Nilai kekerasan terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi berat 12% pada suhu 300°C yaitu sebesar 3,92 HV.
 - b. Nilai densitas terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% pada suhu 25°C yaitu sebesar 1,9791 g/cm³. Nilai densitas terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 6% pada suhu 300°C yaitu sebesar 1,6488 g/cm³.
 - c. Nilai koefisien gesek terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 12% yaitu sebesar 1,8990. Nilai koefisien gesek terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar 0,1406.
 - d. Nilai keausan terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 4% yaitu sebesar $0,45 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg}$, sedangkan nilai keausan terkecil dimiliki oleh sampel dengan fraksi serat waru 12% yaitu sebesar $2,0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{kg}$.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan menggunakan variasi beban kompaksi dan lama pemanasan.
2. Melakukan pengujian sifat mekanik yang lain seperti kekuatan tarik, bending, dan tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, N., Kamal Ariff, Faizzaty. 2017. "Effect of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Composite". *Advances in Material & Processing Technologies Conference Procedia Engineering* 184 (2017) 573 – 580. Elsevier
- Callister, William D. 2001. "Fundamentals of Materials Sciences and Engineering". John Wiley and Sons. USA
- Choo, Vincent K. 1990. "Fundamentals of Composite Materials". Known Academic Press Inc. USA
- Fitrianto, Fuad Dwi.dkk. 2013. "Pemanfaatan Serbuk Tongkol Jagung sebagai Alternatif Bahan Friksi Kampas Rem *Non-Asbestos* Sepeda Motor". Prodi. Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS. Surakarta
- Kurniawan, Ipung. 2014. "Struktur Mikro dan Keausan Blok Rem Kereta Api Berbahan Al-SiC Berdasarkan Komposisi Material. Program Studi Teknik Mesin Politeknik Cilacap
- Mohanty, Amar K, 2005. "Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites". Taylor and Francis Group. USA
- Nurudin, Arif. 2016. "Potensi Pengembangan Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (*Hibiscus tiliaceus*) Kontinyu Laminat sebagai Material Pengganti *Fiberglass* pada Pembuatan Lambung Kapal". Universitas Lampung. Lampung
- Prasetyo, Agung. dkk. 2016. "Pengaruh Waktu Perendaman Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus tiliaceus*) pada Air Laut Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Semarang

- Pratama. 2011. “Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat *Fly Ash* Batu Bara”. Universitas Hasanuddin. Makassar
- Puja, I Gusti Ketut. 2011. “Studi Kekuatan Tarik dan Koefisien Gesek Bahan Komposit Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati dengan Matriks Epoxy”. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
- Pyrgidis, Khriston N. 2016. “Railway Transportation Systems, Design, Construction and Operation”. Taylor and Francis Group. USA
- Reif, Konrad. 2014. “Fundamentals of Automotive and Engine Technology Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems”. Springer Fachmedien Wiesbaden, Germany
- Sandra, Karina Okky, Agus S, dan Anggoro B S. 2014. “Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Densitas dan Porositas pada Membran Keramik Berpori Berbasis Zeolit, Tanah Lempung, Arang Batok Kelapa, dan *Polyvinylalcohol* (PVA)”. Jurusan Fisika Universitas Negeri Jakarta
- Sartorius. 1999. “Manual of Weighing Applications Part 1: Density”. Marketing, Weighing Technology
- Sutikno, S. E. Sukiswo, S. S. Dany. 2012. “Sifat Mekanik Bahan Gesek Rem Komposit Diperkuat Serat Bambu”. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 8 (2012) 83-89
- Syafa’at, Imam. 2008. “Keausan Pada Kontak Luncur *Pin On Disc* Sebuah Tinjauan Pustaka”. Staff Pengajar Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang
- Wahyuni, Ika dkk. “Uji Kekerasan Material dengan Metode Rockwell”. Universitas Airlangga. Surabaya
- Yafie, Mohammad Safrudin. 2012. “Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Sintering terhadap Densitas dan Kekerasan pada MMC W-Cu”. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

LAMPIRAN

A. Data hasil pengujian densitas

Tabel 1 Hasil pengujian densitas untuk semua sampel
pada variasi perlakuan panas 25°C

Fraksi serat waru (%)	Massa kering (g)	Massa basah (g)	Massa celup (g)	Densitas (g/cm ³)	Densitas rata-rata (g/cm ³)	Error (%)
4	0,7661	0,7682	0,3797	1,9719	1,9791	0,7167
4	0,7661	0,7687	0,3811	1,9765	1,9791	0,2588
4	0,7661	0,7686	0,3798	1,9704	1,9791	0,8688
4	0,7661	0,7692	0,3830	1,9837	1,9791	0,4577
4	0,7661	0,7682	0,3838	1,9930	1,9791	1,3866
6	1,0102	1,0217	0,5109	1,9777	1,9521	2,5542
6	1,0102	1,0252	0,5109	1,9642	1,9521	1,2083
6	1,0102	1,0293	0,5105	1,9472	1,9521	0,4954
6	1,0102	1,0301	0,5094	1,9401	1,9521	1,2059
6	1,0102	1,0296	0,5066	1,9315	1,9521	2,0591
8	0,9820	1,0037	0,4953	1,9315	1,9209	1,0640
8	0,9820	1,0092	0,4850	1,8733	1,9209	4,7579
8	0,9820	0,9986	0,4930	1,9422	1,9209	2,1337
8	0,9820	1,0025	0,4945	1,9331	1,9209	1,2161
8	0,9820	1,0050	0,4947	1,9244	1,9209	0,3448
10	0,8574	0,8773	0,4263	1,9011	1,9040	0,2841
10	0,8574	0,8810	0,4278	1,8919	1,9040	1,2070
10	0,8574	0,8790	0,4332	1,9233	1,9040	1,9334
10	0,8574	0,8813	0,4309	1,9036	1,9040	0,0309
10	0,8574	0,8815	0,4302	1,8998	1,9040	0,4105
12	0,6201	0,6582	0,3300	1,8894	1,9028	1,3403
12	0,6201	0,6618	0,3353	1,8992	1,9028	0,3566
12	0,6201	0,6590	0,3356	1,9174	1,9028	1,4640
12	0,6201	0,6607	0,3370	1,9157	1,9028	1,2863
12	0,6201	0,6631	0,3354	1,8923	1,9028	1,0520

Tabel 2 Hasil pengujian densitas untuk semua sampel pada variasi perlakuan panas 150°C

Fraksi serat waru (%)	Massa kering (g)	Massa basah (g)	Massa celup (g)	Densitas (g/cm ³)	Densitas rata-rata (g/cm ³)	Error (%)
4	0,6597	0,6913	0,3521	1,9449	1,9404	0,4500
4	0,6597	0,6941	0,3535	1,9369	1,9404	0,3494
4	0,6597	0,6899	0,3554	1,9722	1,9404	3,1827
4	0,6597	0,6935	0,3485	1,9122	1,9404	2,8196
4	0,6597	0,6920	0,3512	1,9357	1,9404	0,4631
6	0,7367	0,7666	0,3814	1,9125	1,9006	1,1903
6	0,7367	0,7684	0,3766	1,8803	1,9006	2,0314
6	0,7367	0,7719	0,3876	1,9170	1,9006	1,6382
6	0,7367	0,7723	0,3807	1,8813	1,9006	1,9354
6	0,7367	0,7708	0,3855	1,9120	1,9006	1,1407
8	0,5294	0,5851	0,2867	1,7741	1,7943	2,0151
8	0,5294	0,5777	0,2777	1,7647	1,7943	2,9613
8	0,5294	0,5736	0,2877	1,8517	1,7943	5,7416
8	0,5294	0,5868	0,2936	1,8056	1,7943	1,1313
8	0,5294	0,5870	0,2888	1,7753	1,7943	1,8961
10	0,7424	0,8030	0,3826	1,7659	1,7889	2,2963
10	0,7424	0,8051	0,3874	1,7774	1,7889	1,1548
10	0,7424	0,8010	0,3991	1,8472	1,7889	5,8326
10	0,7424	0,8034	0,3829	1,7655	1,7889	2,3383
10	0,7424	0,8023	0,3872	1,7885	1,7889	0,0415
12	0,7725	0,8193	0,3948	1,8198	1,8131	0,6668
12	0,7725	0,8076	0,3965	1,8791	1,8131	6,5985
12	0,7725	0,8239	0,3936	1,7953	1,8131	1,7861
12	0,7725	0,8298	0,3974	1,7865	1,8131	2,6580
12	0,7725	0,8289	0,3961	1,7849	1,8131	2,8231

Tabel 3 Hasil pengujian densitas untuk semua sampel pada variasi perlakuan panas 300°C

Fraksi serat waru (%)	Massa kering (g)	Massa basah (g)	Massa celup (g)	Densitas (g/cm ³)	Densitas rata-rata (g/cm ³)	Error (%)
4	0,9605	1,1535	0,6407	1,8730	1,8668	0,6270
4	0,9605	1,1596	0,6439	1,8625	1,8668	0,4263
4	0,9605	1,1569	0,6434	1,8705	1,8668	0,3717
4	0,9605	1,1569	0,6459	1,8796	1,8668	1,2868
4	0,9605	1,1654	0,6457	1,8482	1,8668	1,8598
6	0,5406	0,7032	0,3607	1,5784	1,6488	7,0396
6	0,5406	0,6860	0,3637	1,6773	1,6488	2,8529
6	0,5406	0,6863	0,3625	1,6695	1,6488	2,0759
6	0,5406	0,6927	0,3654	1,6517	1,6488	0,2906
6	0,5406	0,6912	0,3669	1,6670	1,6488	1,8185
8	0,4572	0,5532	0,2927	1,7551	1,7555	0,0434
8	0,4572	0,5516	0,2896	1,7450	1,7555	1,0482
8	0,4572	0,5490	0,2903	1,7673	1,7555	1,1778
8	0,4572	0,5510	0,2905	1,7551	1,7555	0,0434
8	0,4572	0,5495	0,2890	1,7551	1,7555	0,0434
10	0,6338	0,6848	0,3082	1,6830	1,7280	4,5037
10	0,6338	0,6863	0,3382	1,8207	1,7280	9,2751
10	0,6338	0,6969	0,3384	1,7679	1,7280	3,9932
10	0,6338	0,6926	0,3304	1,7499	1,7280	2,1872
10	0,6338	0,6945	0,3029	1,6185	1,7280	10,9502
12	0,4913	0,6255	0,3509	1,7891	1,7781	1,0998
12	0,4913	0,6348	0,3521	1,7379	1,7781	4,0265
12	0,4913	0,6288	0,3579	1,8136	1,7781	3,5434
12	0,4913	0,6349	0,3557	1,7597	1,7781	1,8480
12	0,4913	0,6334	0,3590	1,7905	1,7781	1,2302

B. Data hasil pengujian koefisien gesek

Tabel 4 Hasil pengujian koefisien gesek untuk sampel dengan fraksi serat waru 4%

Fraksi serat waru (%)	Massa sampel (g)	Massa beban (g)	μ	μ rata-rata	Error (%)
4	16,7380	2,1069	0,1422	0,1406	1,7806

4	16,7380	2,1004	0,1418	0,1406	1,7418
4	16,7380	2,1871	0,1469	0,1406	2,2598
4	16,7380	2,0744	0,1402	0,1406	1,5864
4	16,7380	1,9644	0,1336	0,1406	0,9293
4	16,7380	2,0108	0,1364	0,1406	1,2065
4	16,7380	2,0928	0,1413	0,1406	1,6964
4	16,7380	2,1843	0,1468	0,1406	2,2430
4	16,7380	2,1134	0,1425	0,1406	1,8195
4	16,7380	1,9791	0,1345	0,1406	1,0171

Tabel 5 Hasil pengujian koefisien gesek untuk sampel dengan fraksi serat waru 6%

Fraksi serat waru (%)	Massa sampel (g)	Massa beban (g)	μ	μ rata-rata	Error (%)
6	15,4416	2,3606	0,1705	0,1719	4,6171
6	15,4416	2,1257	0,1553	0,1719	3,0958
6	15,4416	2,3274	0,1684	0,1719	4,4020
6	15,4416	2,6647	0,1902	0,1719	6,5864
6	15,4416	2,4132	0,1739	0,1719	4,9577
6	15,4416	2,2315	0,1622	0,1719	3,7810
6	15,4416	2,5884	0,1853	0,1719	6,0923
6	15,4416	2,2978	0,1665	0,1719	4,2104
6	15,4416	2,4203	0,1744	0,1719	5,0037
6	15,4416	2,3847	0,1721	0,1719	4,7731

Tabel 6 Hasil pengujian koefisien gesek untuk sampel dengan fraksi serat waru 8%

Fraksi serat waru (%)	Massa sampel (g)	Massa beban (g)	μ	μ rata-rata	Error (%)
8	12,8086	1,8236	0,1636	0,1760	3,9298
8	12,8086	2,2713	0,1986	0,1760	7,4252
8	12,8086	2,0781	0,1835	0,1760	5,9168
8	12,8086	1,9875	0,1764	0,1760	5,2095
8	12,8086	1,9874	0,1764	0,1760	5,2087
8	12,8086	2,0350	0,1802	0,1760	5,5803
8	12,8086	1,8929	0,1691	0,1760	4,4709
8	12,8086	1,9179	0,1710	0,1760	4,6661
8	12,8086	1,9053	0,1700	0,1760	4,5677

8	12,8086	1,9170	0,1709	0,1760	4,6590
---	---------	--------	--------	--------	--------

Tabel 7 Hasil pengujian koefisien gesek untuk sampel dengan fraksi serat waru 10%

Fraksi serat waru (%)	Massa sampel (g)	Massa beban (g)	μ	μ rata-rata	Error (%)
10	15,5425	2,5000	0,1784	0,1779	5,4032
10	15,5425	2,4744	0,1767	0,1779	5,2385
10	15,5425	2,4311	0,1739	0,1779	4,9599
10	15,5425	2,4308	0,1739	0,1779	4,9580
10	15,5425	2,5431	0,1812	0,1779	5,6806
10	15,5425	2,4657	0,1762	0,1779	5,1826
10	15,5425	2,4426	0,1747	0,1779	5,0339
10	15,5425	2,5685	0,1828	0,1779	5,8440
10	15,5425	2,4245	0,1735	0,1779	4,9175
10	15,5425	2,6426	0,1876	0,1779	6,3207

Tabel 8 Hasil pengujian koefisien gesek untuk sampel dengan fraksi serat waru 12%

Fraksi serat waru (%)	Massa sampel (g)	Massa beban (g)	μ	μ rata-rata	Error (%)
12	13,9816	2,4388	0,1939	0,1899	6,9570
12	13,9816	2,4912	0,1977	0,1899	7,3318
12	13,9816	2,3392	0,1868	0,1899	6,2446
12	13,9816	2,2705	0,1819	0,1899	5,7533
12	13,9816	2,5111	0,1991	0,1899	7,4741
12	13,9816	2,5113	0,1991	0,1899	7,4755
12	13,9816	2,4973	0,1981	0,1899	7,3754
12	13,9816	2,2826	0,1827	0,1899	5,8398
12	13,9816	2,2133	0,1778	0,1899	5,3441
12	13,9816	2,2694	0,1818	0,1899	5,7454

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Bayu Prasetya lahir di Surabaya pada tanggal 28 Juni 1995. Anak ke dua dari tiga bersaudara dari pasangan Slamet Budiono dan Diana Wahyuningsih. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN VI Babat, MTsN Babat, dan SMAN 1 Babat di Lamongan.

Penulis melanjutkan studi S1 di Departemen Fisika ITS sejak tahun 2013.

Selama menempuh studi S1, penulis aktif sebagai asisten mata kuliah Fisika Dasar dan Laboratorium Elektronika Dasar. Penulis juga sempat mendapatkan amanah sebagai Ketua Umum Forum Studi Islam Fisika ITS (Fosif) dan menerima beasiswa pembinaan Yayasan SDM Iptek pada periode 2015-2016.